

*Я. Д.ДЕМУЗ; В.А.ЖОВДАК, докт.техн.наук;
А.С.СТЕПЧЕНКО, канд.техн.наук, НТУ «ХПИ»*

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫНУЖДЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ ДВУХ ЛОПАТОК С УЧЕТОМ КОНТАКТА В МЕЖБАНДАЖНОМ СОЕДИНЕНИИ

У цій роботі розглядається задача про змушені коливання двох лопаток з урахуванням контактної взаємодії в міжлопатковому з'єднанні. Розроблено алгоритм розрахунку нелінійних коливань з урахуванням контактної взаємодії й проведені числові дослідження.

In the given work the task about forced vibrations of blades is considered in view of contact interaction in blade-to-blade connection. The algorithm of calculation of non-linear vibrations designed in view of contact interaction.

Большинство поломок в турбомашине происходит из-за повреждений лопаточного аппарата. Современная технология сборки лопаточного аппарата последних ступеней паровых турбин приводит к значительным отклонениям в области соединения бандажных полок. Поэтому при стационарном режиме работы возникает неопределенность поведения лопаточного аппарата в области данного контактного соединения. Исследования вынужденных колебаний на этом режиме работы является актуальной задачей [1].

В данной работе ставится задача о вынужденных колебаниях двух лопаток под действием газодинамического потока с учетом центробежных сил и контактного взаимодействия в бандажных полках. Объектом исследования являются лопатки четвертой ступени корпуса низкого давления паровой турбины К-310-23,5, выпускаемой Харьковским турбинным заводом (ОАО «Турбоатом»).

1. Алгоритм решения задачи вынужденных колебаний двух лопаток, с учетом контактного взаимодействия

В данной работе была разработана методика расчета вынужденных колебаний лопаток с учетом контакта в бандажной полке, которая предполагает следующий алгоритм:

1. Построение пространственной конечно-элементной модели лопаток на основе современных программных комплексов (рис. 1, а).
2. Задание граничных условий.
3. Расчет статической контактной задачи в межлопаточном соединении и определение площадки контактирования под действием центробежных сил [2].
4. Расчет собственных частот с учетом контактного взаимодействия, которое достигается путем связывания узлов по всем степеням свободы, расположенных на площадке контактирования (рис. 1, б).
5. Расчет вынужденных колебаний проводится методом разложения по

собственным формам с наложением связей в виде одномерных контактных элементов на узлы предполагаемой площадки динамического контакта. На каждом шаге по времени проводится проверка на наличие контакта. Если контактирование происходит, формируются первичные нормальная и касательная силы, которые сохраняются в вектор нагрузок. Далее на основе итерационного алгоритма определяется истинный вектор нагрузок, который удерживает узлы в контакте. Данный алгоритм позволяет определять динамические контактные напряжения.

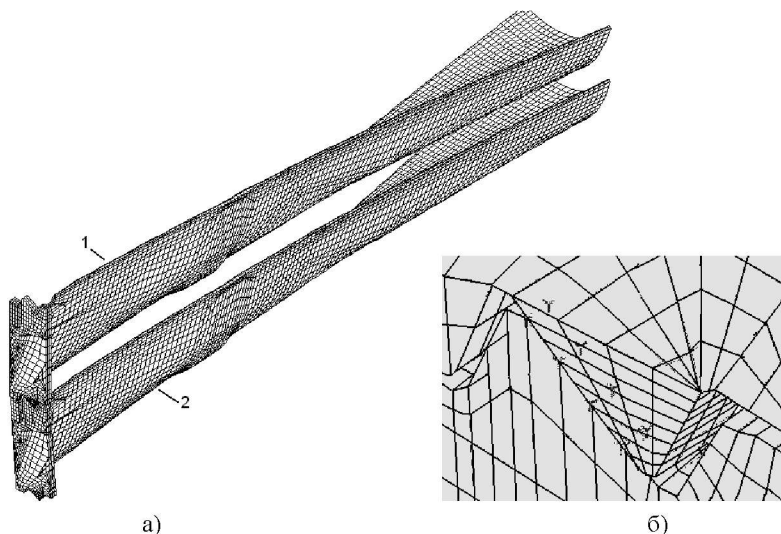


Рисунок 1 – КЭ-модель лопаток:
а) – лопатки; б) – учет контакта в межлопаточном соединении

2. Результаты расчета вынужденных колебаний

В результате расчета статической контактной задачи с учетом действия центробежных сил для двух лопаток [2], было определено, что для данной лопатки в контакт входят узлы верхней кромки бандажной полки, поэтому по верхней кромке бандажа узлы были связаны между собой. Анализировалось появление динамического контакта в узлах нижней кромки бандажной полки, где и были заданы динамические контактные конечные элементы. При этом в качестве вынуждающей нагрузки задано гармоническое воздействие в виде нормального давления 10 МПа, которое подается на «животик» каждой лопатки, с частотой, совпадающей с третьей собственной частотой рассматриваемой модели. В результате получены зависимости перемещений от времени для узлов, вступающих в контакт (рис. 2 – аксиальные перемещения, рис. 3 – тангенциальные перемещения). На рис. 2, 3 перемещения узла первой лопатки показаны линией 1, перемещения соответствующего узла второй лопатки линией 2.

Из рис. 2, 3 видно, что процесс колебаний со временем представляет установившийся квазигармонический процесс. Аксиальные перемещения синфазные, а тангенциальные противофазные.

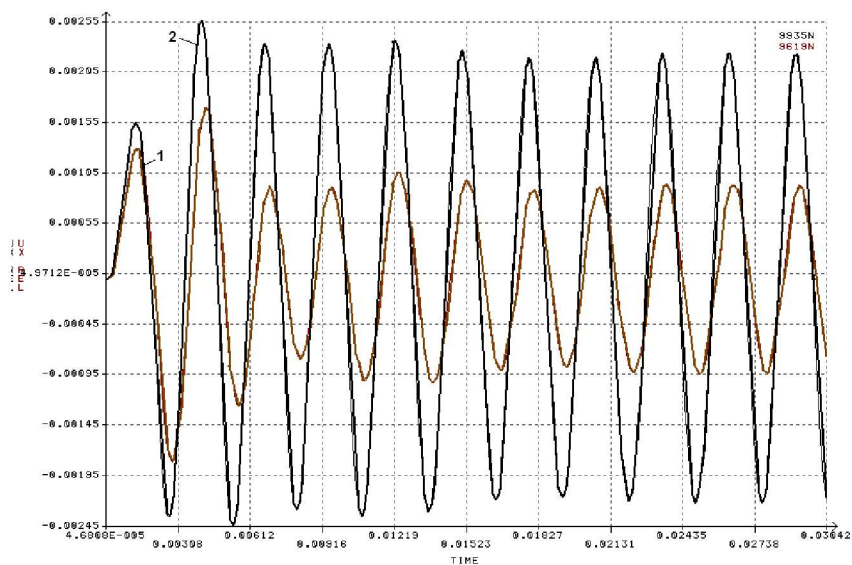


Рисунок 2 – Аксиальные перемещения контактирующей пары узлов

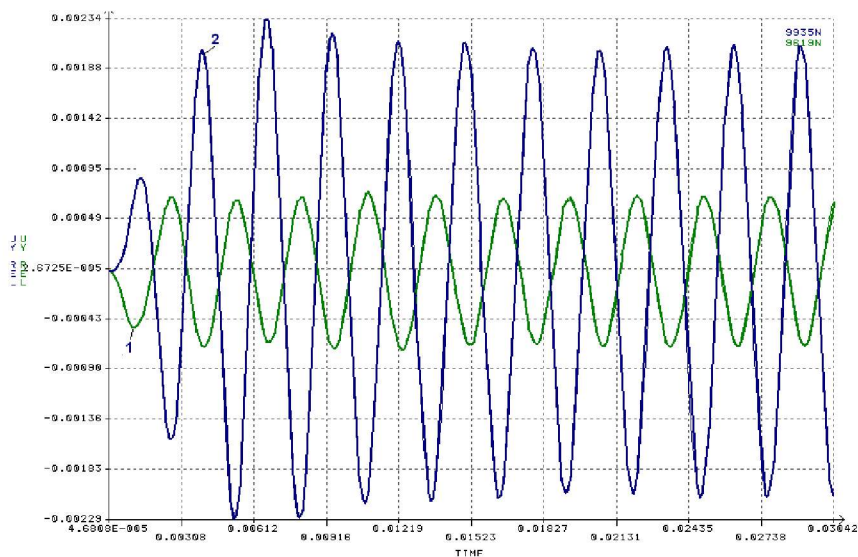


Рисунок 3 – Тангенциальные перемещения контактирующей пары узлов

Особый интерес представляет развитие характера контактирования за период колебаний установившегося процесса. Был выбран период с $t = 0,0267$ по $t = 0,0295$ с. Анализ деформированного состояния за период установившегося процесса показал, что развитие контакта с одинаковой картиной НДС повторяется дважды. Поэтому рассматривается изменение напряженно-деформированного состояния за полупериод. Интенсивность напряжений приведена на рис. 4-5.

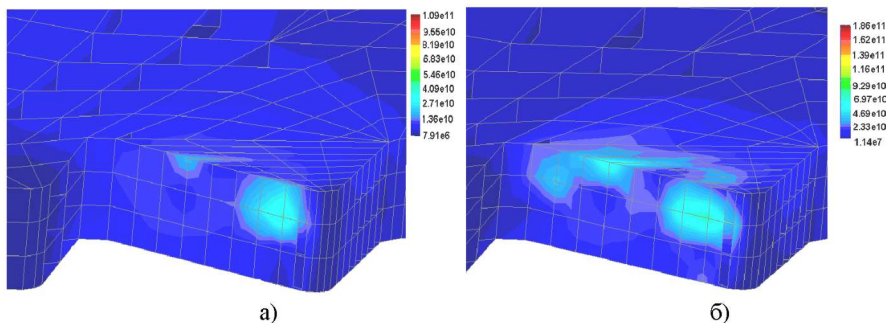


Рисунок 4 – Напряженно-деформированное состояние в бандажной полке 1-й лопатки:
а) – в момент времени $t = 0,0257$ с.; б) – в момент времени $t = 0,0259$ с.

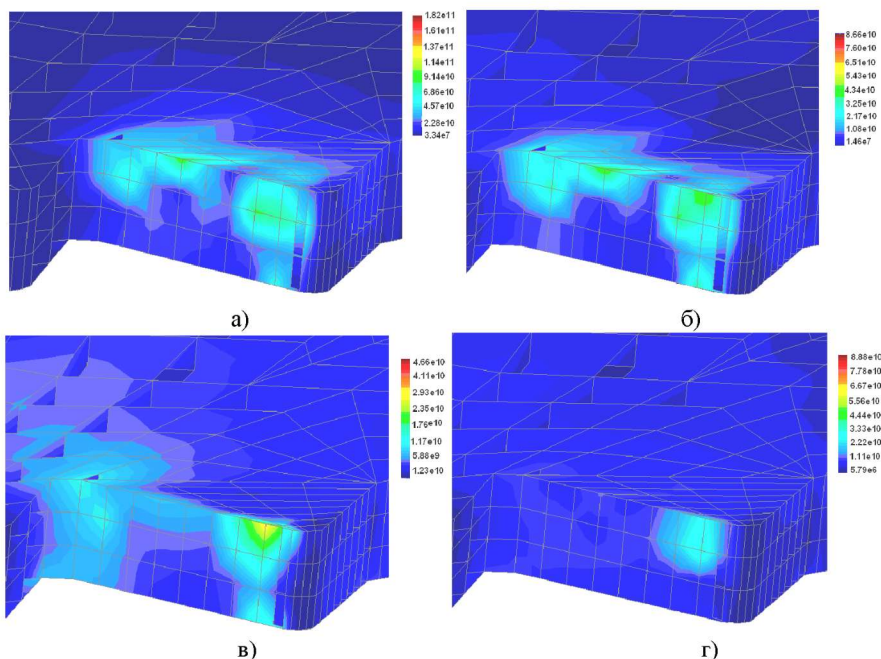


Рисунок 5 – Напряженно-деформированное состояние в бандажной полке 1-й лопатки:
а) – в момент времени $t = 0,02663$ с.; б) – в момент времени $t = 0,02677$ с.;
в) – в момент времени $t = 0,02696$ с.; г) – в момент времени $t = 0,02701$ с.

Были выбраны такие моменты времени полупериода, которые показывают развитие контактных напряжений. Из рис. 4 следует, что контактные напряжения возникают сначала в связанных узлах бандажной полки и они максимальны. На рис. 5 показано возникновение динамического контакта в паре узлов нижней кромки бандажной полки при снижении уровня интенсивности напряжений.

По результатам исследования можно сделать следующие выводы:

- разработан алгоритм решения задачи о вынужденных колебаниях с учетом контактного взаимодействия в межлопаточном соединении.
- показано, что в процессе колебаний возникает динамический контакт в бандажной полке.
- получены перемещения контактирующих узлов под действием стационарной гармонической нагрузки, которые показали, что процесс колебаний со временем носит установившийся квазигармонический характер.

Список литературы: 1. *А.В.Петров, А.В. Шереметьев* Методика расчета динамических характеристик лопаток авиадвигателей при вынужденных нелинейных колебаниях // Вібрації в техніці та технологіях. – 2004. – № 6. 2. *Я.Д.Демуз, В.А.Жовдак, А.Ф.Кабанов, А.С.Степченко* Исследование влияния контакта в бандажном соединении на собственные частоты лопаточного аппарата на основе трехмерных моделей // Вестник НТУ «ХПИ». – Харьков. – 2005. – № 21.

Поступило в редакцию 28.04.2006

УДК 539.3

Г.М.ИВАНЧЕНКО, канд.техн.наук, КНУСА, Киев

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ АНИЗОТРОПИИ УПРУГОЙ ЛИНЗЫ НА ЕЕ ФОКУСИРУЮЩИЕ СВОЙСТВА

Розглядаються випадки фокусування плоскої нестационарної розривної хвилі в трансверсально-ізотропному середовищі поверхнями плоско-випуклої трансверсально-ізотропної пружної лінзи. Досліджується залежність положення зон фокусування хвилі від величин параметрів анізотропії середовища лінзи.

The cases of focusing of a plane unstationary discontinuous wave by the surfaces of a plane-convex transversally isotropic elastic lens in a transversally isotropic medium are examined. Dependence of position of focusing zones of the wave on the values of parameters of anisotropy of the lens medium is explored.

Явления фокусировки световых лучей оптическими приборами – линзами и зеркалами – широко используются для локального увеличения освещенности и концентрации световой энергии. Аналогичные эффекты проявляются и при распространении нестационарных разрывных волн в упругих средах. Для количественного описания таких явлений, а также для исследования их